УДК 69.003.13

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-42-50

Применение BIM для управления жизненным циклом зданий и сооружений

М.А. Савин ✉, **В.В. Белаш**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

✉ mikhailsavin99@gmail.com

Аннотация

Введение. Информационное моделирование зданий и сооружений (BIM) предполагает комплексное рассмотрение объекта, в том числе конструкторской, технологической и экономической информации о здании со всеми ее взаимосвязями и зависимостями [1–2]. При таком подходе здание и всё, что с ним связано, рассматривается как единый объект. Информационное моделирование является важным инструментом для использования на различных этапах реализации проекта, в том числе на этапе проектирования и строительства [3]. Информационное моделирование используется на каждом этапе жизненного цикла объекта, включая инвестиционный этап, само строительство и введение в эксплуатацию, к которому относится техническое обслуживание здания и управление активами. Информационная модель на данном этапе является большим преимуществом для организации, управляющей объектом, которое обусловлено снижением затрат, связанных с возникшими недостатками в процессе эксплуатации. Целью исследований являлось формирование модели эксплуатационной фазы объекта, как наиболее затратной в жизненном цикле здания, в информационной среде с последующим расчетом показателей потребности в проведении ремонтных работ.

Материалы и методы. В процессе исследований рассматривается информационно-аналитическая среда «ИАС ЖКХ», которая используется для прогнозирования технического состояния объекта строительства. Применена методика создания трех моделей эксплуатационной фазы многоэтажного жилого дома на прединвестиционной стадии: здание подвержено естественному старению; проведение ремонтных работ по основным конструктивным элементам, оказывающим непосредственное влияние на жизнедеятельность и функционирование объекта; проведение периодических ремонтных работ всех элементов.

Результаты исследования. В результате проведенных расчётов принята рациональная модель эксплуатации здания с учётом срока эффективной эксплуатации и затратами на проведение ремонтных работ в течении этого промежутка времени.

Обсуждение и заключения. Метод моделирования эксплуатационной фазы объекта строительства по трем моделям позволяет исследовать различные сценарии жизненного цикла здания после его возведения и оценить целесообразность того или иного вида эксплуатации определённого объекта.

Ключевые слова: эксплуатация, жизненный цикл, информационное моделирование, BIM, «ИАС ЖКХ», многоэтажный жилой дом, показатель износа, коэффициент эффективности проведения ремонтных работ.

Для цитирования: Савин М.А., Белаш В.В. Применение BIM для управления жизненным циклом зданий и сооружений. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(2):42–50. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-42-50

Original article

Application of BIM to Buildings and Structures Life Cycle Management

Mikhail A Savin ✉, **Vladimir V Belash**

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ mikhailsavin99@gmail.com

Abstract

Introduction. Information modeling of buildings and structures (BIM) implies comprehensive examination of an object including studying engineering, technological and economic information about a building and all interrelations and dependencies it has [1–2]. Such approach enables considering a building and all things referring to it as a single facility.

Information modeling is an important tool to be used at various stages of the project implementation, including the design and construction stage [3]. Information modeling is used at each life cycle stage of a facility, including the investment stage, construction itself, and commissioning, which envisages maintenance of a building and management of the assets. Having the information model at this stage is a great advantage for the company managing a facility, due to reduction of the costs arising from the operational shortcomings. The aim of the research was to develop the facility's operation stage model in the information environment, as the most expensive stage of a building life cycle and supplement it with the calculation of the need-for-repairs indicators.

Materials and Methods. During the research the data-analytical environment "Information and Analytical System for Housing and Communal Services" (IAS ЖКХ) for forecasting the technical state of a constructed facility was studied. The method of creating the three models of a multi-storey residential building's operation stage at the pre-investment period was applied: a building undergoing natural depreciation; repairs of the main structural elements directly affecting the existence and functioning of a facility are carried out; regular repairs of all elements are performed.

Results. Following the carried-out calculations, a rational model of building operation was approved, based on the period of efficient operation and the cost of repairs during this period.

Discussion and Conclusions. The method of the constructed facility operation stage modeling allows examining various scenarios of the building life cycle after its construction and evaluating the relevance of one or another type of operation of a particular facility.

Keywords: operation, life cycle, information modeling, BIM, IAS for Housing and Communal Services, multi-storey residential building, depreciation indicator, repairs efficiency ratio.

For citation. Savin MA, Belash VV. Application of BIM to Buildings and Structures Life Cycle Management. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning.* 2023;2(2):42–50. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-42-50

Введение. В настоящий момент разработка проектов, процессы строительства и эксплуатации объектов капитального строительства повсеместно подвержены глобальным изменениям, связанным с цифровизацией экономики.

Во время проведения отечественных исследований информационных технологий многократно поднимался вопрос рациональной и эффективной эксплуатации зданий. Данная тема стала особенно актуальна после возникновения гипотезы, что данные, получаемые из BIM-модели на протяжении всего жизненного цикла объекта, позволяют в значительной степени повысить эффективность управления недвижимостью (Facility Management (FM)) [4–5].

Зарубежные исследования проводились с целью изучения информационных технологий как потенциального направления повышения эффективности эксплуатационной фазы жизненного цикла объекта. При этом выявился потенциал BIM в направлении ускорения и упрощения процесса обмена информацией между участниками проекта, что улучшает согласование и коммуникацию. BIM позволяет хранить всю информацию о проекте в единой электронной базе данных, что повышает точность информации и упрощает ее обновление. Кроме того, BIM позволяет быстро получать доступ к необходимым данным о проекте в любое время, тем самым улучшая эффективность эксплуатации объекта [6–16].

В зависимости от вида работы информационные модели делятся на два типа: проектную информационную модель (PIM) и эксплуатационную модель (AIM).

PIM — проектная информационная модель, используемая на этапах проектирования, возведения и изменения здания или сооружения, включая капитальный ремонт, реставрацию, реконструкцию, переоснащение новым оборудованием и снос. Цель PIM — предоставление всех необходимых данных и информации для успешного выполнения проекта.

AIM — информационная модель, сосредоточенная на эксплуатации и управлении активами. AIM хранит информацию о каждом активе: его технические характеристики, историю ремонтов и обслуживания, сведения о ресурсах и материалах, необходимых для эксплуатации, и другую важную информацию. Это позволяет владельцам и операторам активов быстро получать доступ к необходимым данным с целью дальнейшей оптимизации и управления активами.

Несмотря на деление информационных моделей на два типа, исключается разделение их на два разных объекта, что играет весомую роль для прогнозирования мероприятий по капитальному ремонту или реконструкции

здания, так как отсутствует необходимость поиска чертежей и внесения трудоемких изменений в проект, поскольку здание уже существует в единой информационной модели.

Разделение информационных моделей строительного объекта показано на рис. 1.

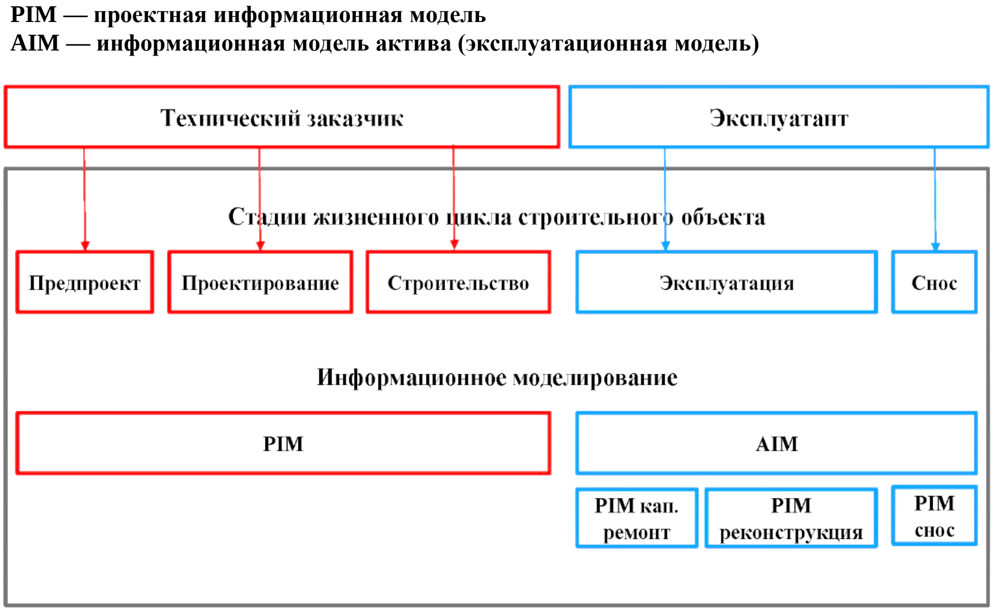


Рис. 1. Типы информационных моделей строительства

Данная схема показывает четкое разделение моделей на два больших блока. При этом за каждый из блоков отвечают разные организации.

В период эксплуатационной фазы, при необходимости реконструкции, сноса или других работ по внесению изменений в существующий объект, новый технический заказчик принимает управление этими работами и осуществляет руководство над ними.

Однако по окончании работ и завершении строительства здания технический заказчик должен передать объект эксплуатирующей организации. В этом случае PIM должен быть доведен до требуемого уровня AIM (активной информационной модели), чтобы отвечать информационным требованиям эксплуатирующей организации.

BIM задействована на каждом этапе жизненного цикла объекта:

– предпроектный этап: создается модель здания, рассчитываются риски строительства;

– этап проектирования и расчёта инвестиций: при помощи информационного моделирования контролируются денежные потоки и их распределение, составляются сметы;

– этап строительства: на основе модели выполняется строительство по рабочим чертежам, корректировка смет, планирование эксплуатации;

– этап эксплуатации: контролируется состояние здания в настоящее время и составляются план-графики ремонтных работ при использовании BIM модели;

– этап сноса здания: модель показывает наиболее оптимальный путь демонтажа здания и рационального использования территории.

Материалы и методы. Инструментом для решения поставленных задач в сфере информационного моделирования является различное программное обеспечение. Существует программное обеспечение, разработанное интернациональными корпорациями с их многомиллионным бюджетом и широким распространением, а также менее популярные и узконаправленные программы, в которых пользователи могут сами влиять на ход дальнейшего развития продукта. Такое программное обеспечение имеет лучшую адаптацию под реалии современного строительства и проектирования в СНГ. Основные направления различных программ показаны на рис. 2.

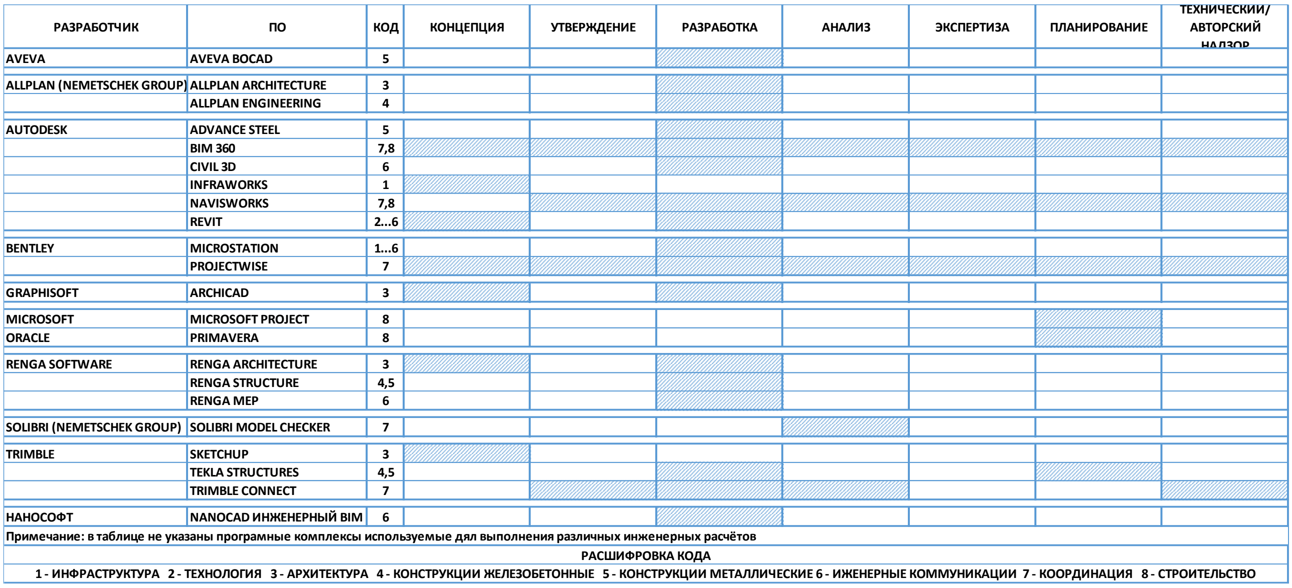


Рис. 2. Программное обеспечение для работы в BIM

Учеными кафедры «Городское строительство и хозяйство» ДГТУ по заказу Министерства ЖКХ Ростовской области разработана и внедрена информационно-аналитическая система «ИАС ЖКХ», которая применяется для прогнозирования технического состояния жилого дома на период эксплуатации и составления списка мероприятий по ремонту МКД. В ней реализуются следующие возможности: ведение реестра объектов недвижимости, хранение, обработка и анализ результатов обследования технического состояния сооружений, определение стоимостной оценки их физического и морального износов, прогноз технического состояния отдельных конструктивных элементов и инженерного оборудования во времени при различных вариантах эксплуатации.

Потребность в ремонте здания оценивается путем анализа степени морального и физического износа конструктивных элементов и инженерного оборудования. Анализ включает в себя оценку повреждений и дефектов, их влияния на функциональность здания и возможность дальнейшей эксплуатации.

При этом рассчитывается коэффициент отношения стоимости ремонтных работ к восстановительной стоимости здания (К — коэффициент эффективности проведения ремонтных работ). На основании значений коэффициента К, указанных в таблице 1, определяется необходимый тип ремонта для доведения здания до нормативного состояния.

Таблица 1

Взаимосвязь значения коэффициента К и типа ремонтных работ

Значение коэффициента К	Тип ремонта
<0,4	Текущий ремонт (ТР)
0,4≤К<0,6	Выборочный капитальный ремонт (ВКР)
0,6≤К<1,0	Комплексный капитальный ремонт (ККР)
≥1,0	Проведение ремонта экономически нецелесообразно

Ввиду того, что самым продолжительным в жизненном цикле объекта капитального строительства является этап эксплуатации, именно он вносит основной вклад в стоимость жизненного цикла.

Оценка продолжительности эффективного жизненного цикла объекта при различных режимах эксплуатации лежит в основе моделирования «ИАС ЖКХ» и представлена на рис. 3.

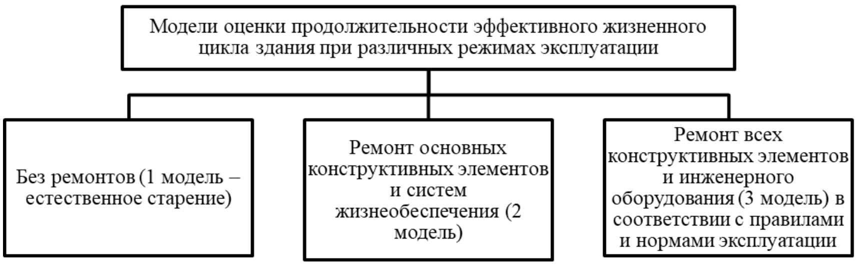


Рис. 3. Оценка продолжительности эффективного жизненного цикла здания

Рассмотрим пример моделирования жизненного цикла на жилом многоэтажном здании с административными помещениями в городе Ростове-на-Дону, который будет строиться в 2023 г.

В процессе моделирования рассмотрена 1-ая (первая) модель, подразумевающая эксплуатацию здания при его естественном старении, то есть без проведения какого-либо типа ремонта на протяжении всего срока эксплуатации (таблица 2).

Таблица 2

Результаты моделирования эксплуатационной фазы объекта по 1-ой модели к 2073 году

Восстановительная стоимость, руб.		Стоимостная оценка физического износа, руб.	
Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов	Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов
559 291 742,90	62 920 321,07	309 401 819,70	75 504 385,29
Стоимостная оценка морального износа, руб.		Коэффициент эффективности проведения ремонтных работ	
Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов	Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов
6 956 191,17	6 956 191,17	0,57	1,21

При анализе полученных данных выявлено, что коэффициент эффективности проведения ремонтных работ для основных конструктивных элементов больше 1, из чего следует, что срок эффективной эксплуатации здания составит 50 лет.

Модель 2 разработана с учетом ремонта основных конструктивных элементов, обеспечивающих жизнедеятельность объекта (рис. 4).

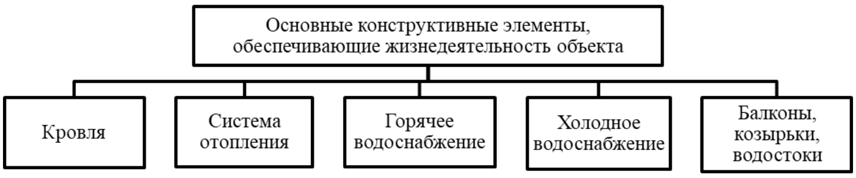


Рис. 4. Основные конструктивные элементы здания

Период моделирования — от первого капитального ремонта до последующего капитального ремонта или до тех пор, пока коэффициент эффективности проведения ремонтных работ не будет больше или равен 1.

Итоги проведения моделирования эксплуатационной фазы многоэтажного жилого дома по 2-ой модели приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты моделирования эксплуатационной фазы объекта по 2-ой модели к 2157 году

Восстановительная стоимость, руб.		Стоимостная оценка физического износа, руб.	
Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов	Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов
559 291 742,90	62 920 321,07	570 917 321,70	36 295 757,25
Стоимостная оценка морального износа, руб.		Коэффициент эффективности проведения ремонтных работ	
Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов	Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов
6 956 191,17	6 956 191,17	1,03	0,59

Результаты моделирования показали, что к 2157 году рекомендуемый тип ремонта — выборочный капитальный для основных конструктивных элементов и систем жизнеобеспечения. При этом коэффициент эффективности проведения ремонтных работ для здания в целом больше 1, из чего следует, что срок эффективной эксплуатации здания составит 134 года.

Модель 3 разработана с учетом нормативного подхода — ремонта всех элементов здания в оговоренные нормами сроки (таблица 4).

Таблица 4

Результаты моделирования эксплуатационной фазы объекта по 3-ей модели к 2173 году

Восстановительная стоимость, руб.		Стоимостная оценка физического износа, руб.	
Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов	Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов
559 291 742,90	62 920 321,07	389 234 331,70	13 416 846,54
Стоимостная оценка морального износа, руб.		Коэффициент эффективности проведения ремонтных работ	
Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов	Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов
6 956 191,17	6 956 191,17	0,71	0,23

Результаты моделирования показали, что к 2173 году рекомендуемый тип ремонта — комплексный капитальный ремонт здания в целом и текущий — для основных конструктивных элементов и систем жизнеобеспечения.

Результаты исследования. По результатам исследования реализации методики оценки продолжительности эффективного жизненного цикла жилого многоэтажного дома с административными помещениями при различных моделях эксплуатации можно сделать следующие выводы:

1. При естественном старении срок эффективной эксплуатации здания (1-я модель) составил 50 лет или 33 % от нормативного срока службы.

2. При эксплуатации здания по 2-ой модели срок эффективной эксплуатации равен 134 года или 89 % от нормативного срока службы.

3. При эксплуатации здания по 3-ей модели срок эффективной эксплуатации равен нормативному, то есть 150 годам.

Затраты на проведение ремонтных работ с учетом коэффициентов приращения при горизонте прогнозирования на 50 лет и 100 лет по 2-ой и 3-ей моделям приведены на рис. 5 и 6.

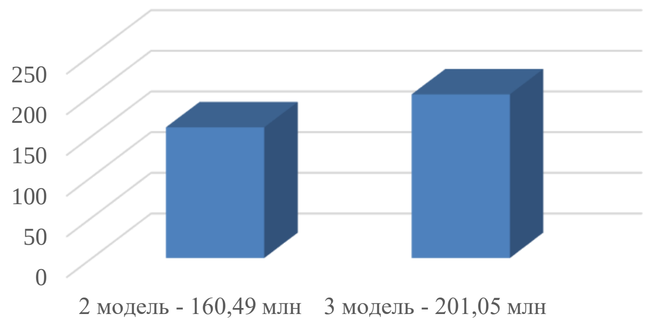


Рис. 5. Затраты на проведение ремонтных работ при горизонте прогнозирования 50 лет по 2-ой и 3-ей моделям эксплуатации

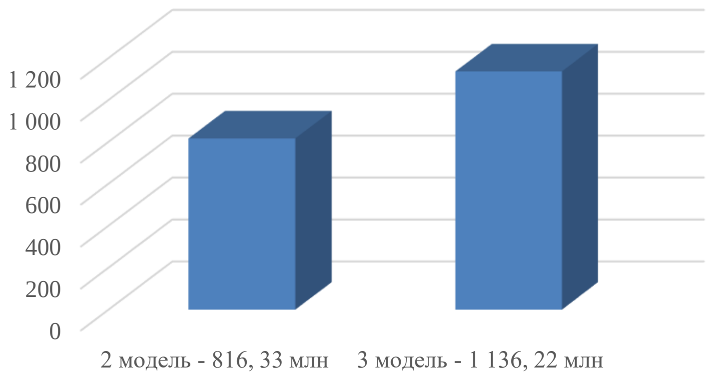


Рис. 6. Затраты на проведение ремонтных работ при горизонте прогнозирования 100 лет по 2-ой и 3-ей моделям эксплуатации

Обсуждение и заключения. Проведенные с применением информационного моделирования расчеты наглядно показали, что применение BIM-моделирования позволяет прогнозировать любую стадию возведения объекта строительства.

По результатам расчетов, представленных в таблицах 2–4, можно сделать выводы о необходимости ремонта основных конструктивных элементов или здания в целом на основании показателей износа и коэффициента эффективности проведения работ.

На основании проведенного моделирования и представленных результатов собственники здания могут самостоятельно выбрать устраивающий их режим эксплуатации, принимая во внимание, что при проведении ремонта основных конструктивных элементов срок эффективной эксплуатации составит 134 года или 89 % от нормативного срока службы здания.

Список литературы

1. Талапов В.В. Информационное моделирование зданий — современное понимание. *CADmaster*. 2010;4(54).

2. Талапов В.В. *Основы BIM. Введение в информационное моделирование зданий*. Москва: ДМК Пресс; 2011. 392 с.

3. Талапов В.В. *Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий*. Москва: ДМК Пресс; 2015. 410 с.

4. Вечелковский Б.Е. Анализ ключевых факторов внедрения технологии информационного моделирования зданий в современном строительстве. *Современная техника и технологии*. 2015;1. URL: https://technology.snauka.ru/2015/01/5625 (дата обращения: 16.04.2023).

5. Pobegaylov O, Fil O, Tchyoubka P, Abdul AS. The strategy of production targets and the environmental planning in construction. *E3S Web of Conferences*; 2019:08010. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199108010

6. Тимофеев С.В., Селютина Л.Г. *Анализ зарубежного опыта развития и использования технологий информационного моделирования в строительстве*. В: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития». Томск; 2015. С. 324–329.

7. Krukowski A. Arsenijevic D. *RFID-Based positioning for building management systems*. In: Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems; 2010. Pp. 3569–3572. https://doi.org/10.1109/ISCAS.2010.5537800

8. Ergen E., Akinci B., Sacks R. Life-cycle data management of engineered-to-order components using radio frequency identification. *Advanced Engineering Informatics*. 2007;21(4):356–366. https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.09.004

9. Manning R., Messner J.I. Case studies in BIM implementation for programming of healthcare facilities. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*. 2007;13:446–457. URL: https://www.researchgate.net/publication/253174582_Case_studies_in_BIM_implementation_for_programming_of_healthcare_facilities (дата обращения: 16.02.2023).

10. Zuppa D., Issa R.R.A., Suermann P.C. BIM's impact on the success measures of construction projects. *International Workshop on Computing in Civil Engineering*. 2009;346:503–512. https://doi.org/10.1061/41052(346)50

11. Becerik-Gerber B., Jazizadeh F., Li N., Calis G. Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2012;138(3):431–442. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433

12. Shen W., Hao Q., Mak H., [et al.] Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction and facilities management: a review. *Advanced Engineering Informatics*. 2009;24(2):196–207. https://doi.org/10.1016/j.aei.2009.09.001

13. Steiner J. The art of space management: Planning flexible workspaces for people. *Journal of Facilities Management*. 2005;4(1):6–22. https://doi.org/10.1108/14725960610644195

14. Zhichong Z., Yaowu W. *Framework of spatial decision support system for large-scale public building evacuation*. In: 2009 WRI Global Congress on Intelligent Systems. Xiamen, China; 2009. Pp. 352–356. https://doi.org/10.1109/GCIS.2009.382

15. Park E., Kwon S.J., Han J. Antecedents of the adoption of building information modeling technology in Korea. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2005;26(8):1735–1749. https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2018-0174

16. Vishnivetskaya A., Mikhailova A. Employment of BIM technologies for residential quarters renovation: global experience and prospects of implementation in Russia. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2005;497:012020. https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012020

References

1. Talapov VV. Informatsionnoe modelirovanie zdanii — sovremennoe ponimanie. *CADmaster*. 2010;4(54).

2. Talapov VV. *Osnovy BIM. Vvedenie v informatsionnoe modelirovanie zdanii*. Moscow: DMK Press; 2011. 392 p.

3. Talapov VV. *Tekhnologiya BIM: sut' i osobennosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdanii.* Moscow: DMK Press; 2015. 410 p.

4. Vechelkovskii BE. Analiz klyuchevykh faktorov vnedreniya tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya zdanii v sovremennom stroitel'stve. *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii.* 2015;1. Available at: https://technology.snauka.ru/2015/01/5625 (accessed: 16.04.2023).

5. Pobegaylov O, Fil O, Tchyoubka P, Abdul AS. The strategy of production targets and the environmental planning in construction. *E3S Web of Conferences*; 201.

6. Timofeev SV, Selyutina LG. *Analiz zarubezhnogo opyta razvitiya i ispol'zovaniya tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya v stroitel'stve*. In: Materialy II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Problemy ehkonomiki i upravleniya stroitel'stvom v usloviyakh ehkologicheski orientirovannogo razvitiya». Tomsk; 2015. P. 324–329.

7. Krukowski A, Arsenijevic D. *RFID-Based positioning for building management systems*. In: Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems; 2010. P. 3569–3572. https://doi.org/10.1109/ISCAS.2010.5537800

8. Ergen E, Akinci B, Sacks R. Life-cycle data management of engineered-to-order components using radio frequency identification. *Advanced Engineering Informatics*. 2007;21(4):356–366. https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.09.004

9. Manning R, Messner JI. Case studies in BIM implementation for programming of healthcare facilities. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*. 2007;13:446–457. Available at: https://www.researchgate.net/publication/253174582_Case_studies_in_BIM_implementation_for_programming_of_healthcare_facilities (accessed: 16.02.2023).

10. Zuppa D, Issa RRA, Suermann PC. BIM's impact on the success measures of construction projects. *International Workshop on Computing in Civil Engineering.* 2009;346:503–512. https://doi.org/10.1061/41052(346)50

11. Becerik-Gerber B, Jazizadeh F, Li N, Calis G. Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2012;138(3):431–442. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433

12. Shen W, Hao Q, Mak H, et al. Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction and facilities management: a review. *Advanced Engineering Informatics*. 2009;24(2):196–207. https://doi.org/10.1016/j.aei.2009.09.001

13. Steiner J. The art of space management: Planning flexible workspaces for people. *Journal of Facilities Management*. 2005;4(1):6–22. https://doi.org/10.1108/14725960610644195

14. Zhichong Z, Yaowu W. *Framework of spatial decision support system for large-scale public building evacuation.* In: 2009 WRI Global Congress on Intelligent Systems. Xiamen, China; 2009. P. 352–356. https://doi.org/10.1109/GCIS.2009.382

15. Park E, Kwon SJ, Han J. Antecedents of the adoption of building information modeling technology in Korea. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2005;26(8):1735–1749. https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2018-0174

16. Vishnivetskaya A, Mikhailova A. Employment of BIM technologies for residential quarters renovation: global experience and prospects of implementation in Russia. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2005;497:012020. https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012020

Об авторах:

Савин Михаил Александрович, магистрант кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, mikhailsavin99@gmail.com

Белаш Владимир Валентинович, доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, Scopus ID, ORCID, rgsu-gsh@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

М.А. Савин — формирование основной концепции, методология исследования, подготовка текста, формирование выводов. В.В. Белаш — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Поступила в редакцию 10.04.2023.
Поступила после рецензирования 28.04.2023.
Принята к публикации 04.05.2023.

Конфликт интересов
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Mikhail A Savin, master's student of the Urban Engineering and Facilities Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, mikhailsavin99@gmail.com

Vladimir V Belash, associate professor of the Urban Engineering and Facilities Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sci. (Engineering), Scopus ID, ORCID, rgsu-gsh@mail.ru

Claimed contributorship:

MA Savin — formulating the main concept, research methodology, preparing the text, formulating conclusions. VV Belash — scientific supervision, research results' analysis, revision of the text, correction of the conclusions.

Received 10.04.2023.
Revised 28.04.2023.
Accepted 04.05.2023.

Conflict of interest statement
The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.